Der Wind als pflanzenpathologischer Faktor.

Von

Dr. O. Bernbeck.

Pflanzenkrankheiten verursachende Kräfte des Windes sind schon seit langem bekannt, aber noch heute stehen sich die Ansichten über die im Winde wirksamen schädigenden Momente schroff gegenüber, was sich daraus erklärt, daß die pathologischen Veränderungen der Pflanze sehr mannigfaltig sein können je nach Windstärke, Beschaffenheit der Luft, des Standortes und des Pflanzenindividuums.

Zur Klärung dieser Fragen stellte ich von 1905 bis 1907 an der landwirtschaftlichen Akademie Poppelsdorf und der Universität Bonn größere Versuche mittels eines nach Art eines Schiffspropellers konstruierten Winderzeugers an und besuchte im Anschluß an diese künstlichen Versuche auch die windgefährdete Nordseeküste sowie die Hochalpen zu vergleichenden Studien.

Ich schicke der späteren Erörterung die Hauptergebnisse meiner Bonner Versuche voraus[1]).

Kap. 1: Allgemeine Verhältnisse im Winde.

I. Die Temperatur.

1. Feuchter Boden wird durch Wind stets erkältet.
2. Im Sonnenlicht wird die Temperatur bestrahlten Bodens relativ mehr herabgedrückt als in diffuser Beleuchtung; um so tiefer, je größer die Windstärke. Hierbei fällt die Temperatur feuchten Bodens schneller und tiefer als die des trockenen.
3. Durch Sonne erwärmte Sproßorgane erkalten um so mehr, je stärker der Wind. Berührungskälte + Transpirationskälte.
4. Bei diffusem Lichte ist die Temperatur von der Wasserabgabe der Pflanze abhängig:

1) Die nähere Beschreibung der auf Anregung des verstorbenen Kgl. Universitätsprofessors Dr. F. Noll ausgeführten Versuche ist als Dissertation im Jahre 1907 von der Universität Bonn allen bedeutenden Bibliotheken zugestellt worden.

Die Pflanzen, welche im Winde — resp. bei gewissen Windstärken — die Transpiration herabsetzen (Linum), erhöhen ihre Wärme bis zur Lufttemperatur.

Die Sprosse der im Winde mehr verdunstenden Pflanzen erkalten.

II. Transpiration.

1. Die Spaltöffnungen der meisten untersuchten Pflanzen verengern oder schließen sich im Winde.
2. Nach Verschluß der Spaltenapparate setzt der Wind die Transpiration so lange herab, als Biegungen der Sproßorgane nicht eintreten.
3. Die größeren Windstärken erhöhen die Wasserdampfabgabe nicht fixierter Sprosse um so rapider, je geringer die mechanische Festigkeit der Pflanze gegenüber der Windstärke ist. (Spannung turgeszenter Zellen, Durchlüftung der Interzellularen, Wunden.)
4. Fixierte oder von Natur steife Blatt- und Zweigorgane erhöhen mit zunehmender Windstärke die Wasserdampfabgabe wenig, sofern die Spaltöffnungen offen bleiben; sie verringern jedoch die Transpiration, wenn die Spalten auf Wind reagieren.

III. Assimilation.

1. Angewelkte Blätter assimilieren nicht, gleichgiltig ob das Anwelken durch Bodentrocknis oder Biegung veranlaßt ist.
2. Die Assimilation ist im Winde (durch ungünstigere Lichtlage, Temperatur und Wassergehalt) herabgesetzt.
3. Mechanisch widerstandsfähige oder künstlich befestigte Blätter assimilieren stets besser als biegsame.

Kap. 2: Pathogene Einwirkung des Windes auf unterirdische Sprosse und Wurzeln durch Trocknis und mechanische Kräfte.

1. Durch vermehrte Wasserverdunstung — bei Wind 10 m bis 4 fach — entsteht Bodentrocknis oder häufiger Feuchtigkeitswechsel. Eine leichte Bodendecke aus Waldstreu verhütet diese Schädigung.
2. Tiefwurzelnde Pflanzen erweisen sich auf bewindeten Örtlichkeiten widerstandsfähiger als Flachwurzler: Auslese durch Wind.
3. Mechanische Beanspruchung des Wurzelsystems führt bei genügender Windstärke zu Bruch, Abschürfung der Epidermis, Zerreißung usw.
4. Entführung der Erde, Bloßlegung der Wurzeln, Tötung der Kleinlebewesen, Verhinderung der Taubildung usw.

Kap. 3: Pathogene Einwirkung auf oberirdische Sprossteile bei genügender Bodenfeuchtigkeit.

1. Nicht verholzte Pflanzenteile werden durch Wind (meist über 7 m) getötet, sofern sie stark geschlagen oder gebogen werden.

2. Normale verholzte Teile leiden in der Regel erst bei Windstärken über 15 m in erheblicher Weise; bei mangelnder mechanischer Festigkeit genügen schon geringere Windgeschwindigkeiten zur partiellen Abtötung infolge von Wunden und Vertrocknung.
3. Die pathogenen Kräfte des Windes. Die im Winde allgemein auf Pflanzensprosse wirkenden pathogenen Kräfte sind — abgesehen von Temperatur und abnormen Beimengungen der Luft — die mechanischen und austrocknenden Eigenschaften.
   A. Die mechanischen Kräfte des Windes spielen die Hauptrolle; werden sie durch Fixierung der Pflanze ausgeschaltet, so können Windgeschwindigkeiten von 14 m (und wahrscheinlich jeder beliebigen Stärke) keinen nennenswerten Schaden für unsere einheimischen höheren Landpflanzen verursachen.
      a. Druck- und Zugspannungen bedingen Quetschung und Zersprengung von Gewebeteilen; außerdem führen scheerende Kräfte zu Verschiebungen der inneren Teile gegeneinander durch Zerreißung oder Überdehnung der verbindenden Gewebe: Knickung.
      b. Reibung und Schlag durch die Druckkraft des Windes werden stets gefährlich. Krautige Pflanzenteile werden hierdurch in kürzester Zeit getötet.
      c. Die Biegung der Sprosse hat eine Wasserverdrängung aus dem gepreßten Zellgewebe und erhöhte Durchlüftung des Interzellularsystems zur Folge, wodurch diese Teile der Gefahr einer Vertrocknung unterliegen. (Mechanisches Anwelken krautiger Pflanzen.)
   B. Die austrocknenden Eigenschaften des Windes erhöhen den Umfang von Verletzungen dadurch, daß auch gesunde angrenzende Gewebe vertrocknen.

      In anderen Fällen werden die Pflanzen durch Biegungen zum Trockentote prädisponiert: Hier ist es die wasserentziehende Wirkung des Windes, welche über Fortbestand oder Tod entscheidet; bei hohem Sättigungsdefizit der Luft vertrocknet der Pflanzenteil, bei geringem wird derselbe keinen Schaden nehmen.

Kap. 4: **Das Wachstum im Winde.**

Zweierlei Einflüsse bedingen das Kümmern windexponierter Pflanzen:

1. Der direkte Anprall bewegter Luft gegen oberirdische Sprosse vermindert deren Zuwachs mit steigender Windgeschwindigkeit. Der Zuwachs fällt bis zu negativen Werten, sobald die Sprosse stetig bewegt sind.
2. Die rapide Austrocknung des Bodens verbunden mit wechselnder Feuchtigkeit hindert ein normales Wurzelwachstum, sofern der

Mineralboden unbedeckt ist. Die verheerendste Wirkung übt der Wind durch Ausblasen des Bodens in langen Zeiträumen: Verkarstung, Versandung; sowie durch Hinderung normaler Nährstoffzersetzung im Boden und Zerstörung der Krümelstruktur.

3. Als Vergleichswerte der Wachstumsenergie empfindlicherer Kulturpflanzen in Luftruhe, Wind 10 m und 5 m gebe ich unter Berücksichtigung der durch Wind bewirkten Bodentrocknis[1]) die nachstehenden, im Anhalt an meine Messungen von Versuchspflanzen, geschätzten Zahlen: bei Windgeschwindigkeit 10 m, 5 m und 0 m verhält sich die produzierte Menge organischer Substanz ungefähr wie 1 : 2 : 3.

Kap. 5: **Diagnose der Windkrankheiten.**

Windstürme von mehr als 20 m pro Sek. äußern sich in bekannter Weise durch Werfen, Abbrechen, Zerreißen und Abdrehen von verholzten und krautigen Pflanzen und Pflanzenteilen, Quetschung und Knickung jüngerer Organe.

Solche Stürme treten in unserem mitteleuropäischen Klima selten auf und wehen dann hauptsächlich im Winterhalbjahr zur Zeit der Vegetationsruhe. Demgemäß bietet der herbstliche Blattfall einen großen Schutz gegen Windgefahr, da er die Angriffsfläche der Stürme vermindert.

Anderseits leiden die immergrünen Nadelhölzer ganz intensiven Schaden durch die Winterstürme; an der holländischen Seeküste bei Zandvoort fand ich im Oktober 1905 bei sehr stürmischem Wetter einige ca. 10 Jahre alte Koniferen (Fichten, Kiefern und Wacholder) völlig zerzaust mit abgepeitschten, von Nadeln entblößten Ästen. Die in demselben Garten ebenso frei stehenden Laubhölzer blieben von Beschädigung fast ganz verschont, da die entlaubten Zweige nur mäßig bewegt wurden.

Für die Vegetation des mitteleuropäischen Binnenlandes kommen mehr die mittleren Windgeschwindigkeiten in Frage. Diese wurden früher in ihrer Schädlichkeit überhaupt nicht erkannt, obwohl ihre chronisch zerstörende Wirkung auf Substrat und Pflanze weitaus gefährlicher werden kann.

a. Boden. Winde mittlerer Stärke (3—15 m) vermindern die Bonität des Bodens dauernd, bis derselbe nach Verlust der flüchtigen Partikel und physikalischen Güte auch chemisch ungünstig reagiert und überhaupt keine anspruchsvolleren Nutzpflanzen mehr trägt. Die norddeutsche Heide bietet hierfür viele Belege, ebenso alle windexponierten Waldränder. Die Krümelstruktur freiliegender Gärten schwindet infolge der intensiven Austrocknung und mechanischen Verwehung der oberen Bodenschicht. Der intensive[2]) Wasserentzug im Winde

1) Die chronische Herabminderung der Bodenbonität blieb außer Betracht.

2) In Windstärken 3—5 m war die Verdunstung ungefähr doppelt und bei 10 m etwa 3mal so stark als in Luftruhe.

befördert in Trockenzeiten das Absterben der nützlichen Mikroorganismen und Tiere des Kulturbodens und zugleich der oberflächlich streichenden Pflanzenwurzeln. Bezüglich weiterer chronischer Bodenschädigung verweise ich auf die einschlägigen Veröffentlichungen von Provinzial-Forstdirektor C. Emeis in Flensburg.

b. Oberirdische Sprosse.

1. Die jungen Gewebe, welche das Hauptlängenwachstum noch nicht überschritten haben, in lebhafter Zellteilung begriffen sind und deren Zellinhalt fast ganz aus Protoplasma besteht, verhalten sich gegen Vertrocknung im Winde immun; Biegungen dieser noch kurzen Blättchen und Triebe treten nicht leicht ein.

Will man Frostschaden von Vertrocknung im Winde unterscheiden, so genügt die Untersuchung dieser zarten Teile, welche dnrch Frost sehr stark leiden, während sie im Wind nur durch leicht zu erkennende mechanische Einwirkung benachbarter peitschender Sprosse beschädigt werden können. Diese Beschädigung besteht in Abschürfung der Epidermis, Zerreißung und Quetschung innerer Zellkomplexe. Außerordentlich grelle Farbentöne entstehen auf der Oberseite junger Blättchen, wo diese durch darüberstehende Blätter gestoßen werden. Oft sind hier die Epidermis oder die darunterliegenden Zellmembranen verletzt, häufig aber liegt keine Beschädigung der Zellwände vor. Diese letztere Erscheinung, daß junge Gewebe ohne äußere Verletzung absterben, erklärt sich aus der Turgeszenz: Jeder Schlag auf die prallgespannten Zellen bewirkt den Übertritt von Wasser und event. feiner[1]) Protoplasmateile in die benachbarten Zellen niedrigeren Druckes, bis die gestoßenen Zellkomplexe allmählich ausgepumpt sind. Die Farben dieser so entstandenen abgestorbenen Blattpartien sind meist diamantglänzend kaffeebraun bis schwarz, bei *Viburnum opulus* stahlblau. Solche Flecke entstehen an allen gepeitschten turgeszenten Pflanzenteilen, deren Membranen noch nicht hart und verdickt sind.

Charakteristische, bei allen freistehenden Bäumen auftretende Figuren entstehen dadurch, daß oberhalb schwingende Blätter auf darunter befindlichen Blattspreiten halbkreisförmige Streifen durch Stoß abtöten. Hierbei werden oft nur die Palisadenzellen getötet, während die starken Blattrippen und das unterliegende Schwammparenchym manchmal vollständig gesund bleiben. — Rasch vertrocknende Blätter und Zweige färben sich fahlgrün (dünne Schattenblätter); langsam trocknende Blätter und Zweige werden braun,

1) Vgl. auch die Spezialstudie Schweidlers: »Über traumatogene Zellsaft- und Kernübertritte bei *Moricandia arvensis*«. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 48. Heft 5.

jedoch erhalten sie nicht so tiefe Farbentöne, wie sie Trauma hervorbringt. Deshalb zeigen im Herbar aufbewahrte Blätter und Jungtriebe noch nach Jahren diese meist dunkelbraun (*Viburnum opulus* tiefblau bis rotbraun) gefärbten Wunden. — Die Färbung ist sehr wichtig als Unterscheidungsmerkmal zwischen Tod durch Trauma und Tod durch Vertrocknung. Im allgemeinen färben verletzte junge Gewebe intensiv, alte Blätter und Nadeln zeigen bei Verwundung und Vertrocknung geringe Farbenunterschiede[1]).

2. Die Pflanzensprosse, Zweige und Blätter bilden ihre Festigungsorgane erst nach der Periode des Hauptlängenwachstums aus. Erst dann werden auch die Zellmembranen verdickt, so daß die Festigkeit nicht mehr vom Turgor abhängt. — Noch krautige, unverholzte Pflanzenteile schützen sich gegen Vertrocknung dadurch, daß ihre Wasserabgabe durch Anwelken automatisch gehemmt ist. Für solche welke Pflanzenteile ist Wind äußerst gefährlich: durch die mechanische Kraft der Luftstöße werden die welken Blätter und Zweige zerschlagen; selbst geringe Geschwindigkeiten (3—4 m) genügen, um sie durch Biegungen vom Rande herein zum Vertrocknen zu bringen.

Die Gefährdung durch Wind steigert sich bei jungen Sprossen mit zunehmender Größe und erreicht ihren Höhenpunkt mit Abschluß des Jahrestriebes resp. des Flächenwachstums der Blätter und vor der dann einsetzenden Membranverdickung und Festigung durch Dickenwachstum.

Ich fand, daß mit Zunahme der Größe der Vakuolen wachsender Zellen sich deren Empfindlichkeit gegen physiologische Trockenheit, bedingt durch Wind, Boden und konzentrierte Salzlösungen rapid steigert.

Ausgewachsene, noch unverholzte Jahrestriebe werden durch Wind über 7 m leicht getötet, indem sie erst anwelken und dann mechanisch zerschlagen werden. So entstehen dann Bilder, ähnlich denen, welche Fr. Baudisch im Zentralblatt f. d. ges. Forstwesen 1904, Heft 11 veranschaulicht.

Die gefährlichsten Winde sind demnach die in die Hauptwachstumsperiode fallenden, d. i. für unsere deutsche Vegetation Mai bis August; glücklicherweise bringt uns diese Jahreszeit die wenigsten Stürme und die geringste mittlere Windstärke der Jahresperiode überhaupt[2]).

1) Jede Pflanzenart hat eine spezifische Wundfärbung. Sehr stark ist diese bei *Viburnum tinus*, *Evonymus japonicus*.

2) Nach van Bebber sind in Hamburg die über 15 m starken Winde im Monat Januar 5 mal häufiger als im Juli.

3. Ausgebildete und verholzte Pflanzenteile sind im allgemeinen widerstandsfähig gegen Windstärken bis 15 m. Nur wenn diese Pflanzen eine besondere Prädisposition für Windkrankheiten besitzen, können sie erheblich beschädigt werden.

Eine solche Prädisposition verleiht:

A. Der innere und äußere Bau der Pflanze;

a. Große Luft- und Bodenfeuchtigkeit zwingt die Vegetation zu einer relativen Anpassung, welche in einer Zunahme der Oberfläche bei gleichem Volumen, Zunahme der luftführenden Interzellularen und größerer Durchlässigkeit der Transpirationswege besteht. Solche raschgewachsenen feucht erhaltenen Pflanzen haben in der Regel eine schwammige, gegen Biegung und Druck weniger widerstandsfähige Struktur und sind gegen Trockenperioden sehr empfindlich. Umgekehrt erträgt eine an Trockenheit angepaßte Pflanze durch gedrungenen, dichtgefügten Bau und Ausbildung der die Transpiration herabsetzenden Organe höhere Windgeschwindigkeit. So bietet xerophile Struktur Schutz gegen Windschaden, Hygrophilie gefährdet.

Xerophil sind in der Regel die an den Freistand, d. i. an Sonne und Wind gewöhnten Pflanzenteile, während die Schattenpflanzen, d. s. Pflanzen, welche im Waldesschatten stehen, meist hygrophilen Bau besitzen. Schattenblätter unserer Waldbäume sind hygrophil, die Sonnenblätter xerophil. Selbst alte Schattenblätter sterben schon nach wenigen Stunden in Wind 8—12 m infolge von Biegungen der Lamina zwischen den Blattrippen[1]) und durch Umbiegen vom Rande herein. Scharfe Biegungen haben Zerquetschung der Gewebe im Gefolge; kenntlich sind diese Quetschungen an dem schwärzlichen Verfärben der betroffenen Zellkomplexe. Die schwarze Färbung entsteht durch Eintritt des Zellsaftes in die Interzellularen. — Sonnenblätter erleiden dagegen durch wochenlang andauernden Wind gleicher Stärke keinen erheblichen Schaden. — Ähnlich verhalten sich in Beschattung und Freistand erzogene Äste.

b. Enger Stand bringt übermäßige Streckung der Stämme hervor, welche bei Freistellung dem Winde geringen mechanischen Widerstand leisten; sie biegen sich bei schwachem Luftzug. Meine Versuche haben zweifellos festgestellt, daß durch Biegungen das Längenwachstum von Sprossen herabgesetzt wird. Hierdurch erhalten die Beobachtungen

1) Es entsteht Finger- und Fiederblattform.

Dr. Metzgers über die mechanische Ausbildung der Bäume im Wind eine physiologische Grundlage.

Die Erforschung der physiologischen Bedeutung andauernder Bewegung für Pflanzensprosse war ein Hauptresultat meiner Bonner Arbeiten. Die im Winde hin und hergebogenen Partien werden durch den Biegungsdruck zusammengepreßt und wasserarm; zugleich wird das Interzellularsystem blasebalgartig ausgelüftet, was eine große Erhöhung der Transpiration im Gefolge hat. Der Transspirationsstrom wird an der Biegungsstelle gehemmt und die oberhalb liegenden Pflanzensprosse erleiden Wassermangel. Je nach der Intensität und Dauer der Biegungen vertrocknet dieser Teil ganz oder er verliert nur die Blätter und Jungtriebe. Auf solche Weise entsteht Gipfeldürre der nicht an Wind angepaßten, plötzlich freigestellten Bäume, sowie der an Feuchtigkeit gewöhnten Pflanzen, sobald Boden- oder Lufttrockenheit eintritt. Das Absterben der windbewegten oberen Teile von Pappeln und anderen Laubhölzern sowie der Fichtengipfel, besonders auf Aueboden, ist großenteils auf genannte Ursachen zurückzuführen.

B. Ungunst des Bodens prädisponiert besonders dann zu Windschaden, wenn dieselbe auf starkem Wechsel der Feuchtigkeit oder auf dem Gehalt an chemisch giftig einwirkenden Stoffen beruht.

Zeitweilige Bodenfeuchtigkeit beschränkt das Wurzelwachstum, regt dagegen die oberirdischen Sprosse zu hygrophiler Ausbildung und raschem Wachstum an. Solches Wachstum begünstigt mechanische und austrocknende Angriffe des Windes, besonders Windwurf bei feuchter und Zopftrocknis bei trockner Witterung.

Nadelholzsterben in Schleswig-Holstein.

Im Anschlusse an diese Erörterungen komme ich auf das frühzeitige Absterben des Nadelholzes auf der Cimbrischen Halbinsel zu sprechen. Fichten und Kiefern zeigen dort infolge großer zeitweiliger Feuchtigkeit während der Vegetationsmonate rasches Jugendwachstum, hygrophilen Bau des Holzes, wenig verdickte Zellwandungen. Das Haubarkeitsalter erreichen diese Nadelhölzer in den nördlicheren Landesteilen nur auf besten Standorten. Bei Brammer, wo in einer Privatwaldung auf altem Buchenboden Fichten und Kiefern in reinen Kleinbeständen zwischen Laubholz angebaut worden sind, zeigen die älteren Kiefernstangenhölzer mäßiges Gedeihen, die ca. 40—50jährigen Fichten sterben jedoch eine nach der andern ohne

erkennbare äußere Ursache ab; besonders durchlichten sich die windgefährdeten Fichtenwaldränder.

Die Fichten sind hier schnell und schlank gewachsen, haben schwammige Holzstruktur, wie sie durch Feuchtigkeit erzeugt wird. Diese Erscheinung leitet im Zusammenhalt mit vorstehenden Ausführungen zu der Annahme, daß die hygrophil erwachsenen Fichten durch Windtrocknis während des Sommers und durch die mechanische Gewalt der Winterstürme getötet werden. Für diese Anschauung spricht auch das Vorkommen älterer gesunder Fichten, einzelständig zwischen Laubholz, welche stufig kegelförmig gewachsen sind. In diesem Falle werden die Nachteile des Windes aufgehoben, der Schaft ist biegungsfest und das umgebende Laubholz schützt den Boden vor Aushagerung.

Nadelschütte.

Unweit von diesem alten Waldgebiete befindet sich die Heideaufforstung Brammerau. Der Boden besteht zum größeren Teil aus ortsteinfreiem Flugsande, etwa $^1/_4$ ist mit Ortstein unterlagerter Bleichsand. — Zur Aufnahme der Wurzeln eignet sich nur eine schmale Bodenschicht, welche meist zwischen 5 und 20 cm Tiefe streicht. — Bei 10 cm Bodentiefe findet man auch in Trockenzeiten genügende Wurzelfeuchtigkeit, ähnlich wie ich dies in den Nordseedünen konstatieren konnte. — Auf dieser ganzen Aufforstungsfläche befällt die Kiefernschütte alle Bestandsalter; so schütteten auch im Frühjahr 1910 die 36jährigen genau wie die jüngeren Kiefern; es war jedoch nur ein Teil der unter 4 Jahre alten vom Schüttepilz befallen, wie am forstbotanischen Institut München konstatiert worden ist. — Diese Kiefernschütte steigert sich an den windexponierten Bestandsrändern und auf Bodeneinsenkungen. Letztere sind hier infolge schlechter Durchlüftung des Erdreichs und zeitenweise anstehenden stagnierenden Wassers für die Kultur ungünstiger als die Hügel. Von den jungen 2—5-jährigen Kiefern bleiben die in Büscheln zu zweien gepflanzten meist verschont, entwickeln sich auch durchgehends viel rascher, da sie sich gegen Biegung im Wind gegenseitig stützen.

Alle genannten Erscheinungen weisen auf eine Kombination schädlicher Einflüsse von Boden und Klima hin. Periodische Trocknis, wechselnd mit Nässe und schädliche Stoffe des Substrates begünstigen die häufige Wurzelfäule und hemmen so die Wasseraufnahme der Pflanze direkt und indirekt, während die übermäßige Luftbewegung Wasserarmut des Holzkörpers bedingt. Ein leichter Frühjahrsfrost ging der Schütte 1910 voraus, es ist jedoch ein Frosttod der Nadeln nicht anzunehmen, weil das Holz völlig ausgereift war; auch blieben die benachbarten Kiefernbestände alten Waldbodens verschont.

Als Ursache der Kiefernschütte der Heidebestände bleibt demnach die Ungunst des Standortes, welche, durch Extreme des Klimas unterstützt,

die Assimilationsorgane schädigt. Die funktionsschwach gewordenen Nadeln fallen ab[1]).

Kap. 6: Schutz der Bodenkultur gegen Wind.

Die Tatsache, daß schon Windgeschwindigkeiten von 5 m an verderblich für das Pflanzenleben werden, wenn sie tage- und wochenlang wehen, beweist den Vorteil eines Windschutzes auch bei genügender Bodenfeuchtigkeit. Speziell gärtnerische Betriebe müssen sich mehr der Vorteile systematischen Abschlusses der Kulturgewächse gegen direkten Wind durch wärmespeichernde Stein- und Bretterwände bedienen. Vorbildlich ist in dieser Beziehung das Winter-Calville-Gehege zu Merten bei Bonn, wo in Abständen von ca. 10 m Parallelmauern errichtet sind.

Die wichtigsten Windbrecher sind Bodenerhöhungen und Bäume, als künstliche Windschutzmittel sind Flecht- und Bretterzäune, Steinmauern, lebende Hecken und Knicks im Gebrauch. — Wie sehr eine Bodenerhebung den Wind bricht und in höhere Luftschichten ablenkt, zeigt die belgische und holländische Küste.

Große Teile der belgischen Dünenkette sind mit Pappel- und Weidenstecklingen aufgeforstet worden und sind vom Kamm der Vordüne ab gut bestockt. Leider zeigen die Pappeln bereits beginnende Kernfäule als Folge dieser Pflanzmethode, die Weiden sind gesund.

In Holland beweist der Haagsche und Scheveningsche Bosch, daß nach Dämpfung des ersten Anpralls der Seewinde auf gutem Standort Laubwaldungen bester Bonität gedeihen; der Wald ist sich selbst Windschutz, sofern der exponierte Waldmantel standhält. Ohne künstliche Nachhilfe drängt jedoch konstanter Wind den Waldmantel auf freier Lage von Baumgeneration zu Baumgeneration zurück: Windheide und Windsteppe.

1. Zum Schutze der Waldungen gegen konstante Winde mittlerer Stärke sowie gegen Sturm dient ein widerstandsfähiger, am Boden dichtschließender Waldmantel, welcher am vorteilhaftesten aus bodenkonservierenden Laubhölzern besteht (möglichst nicht Fichte!), Kräftigung der Baumindividuen durch frühzeitig einsetzende Kronenfreihiebe, Erhaltung des unterdrückten Materials und des toten Bodenüberzugs. — Holzhiebe zum Zwecke der Verjüngung sollen sich der Femelform nähern, jedenfalls sind große Kahlflächen zu vermeiden.

Als Forsteinrichter einer Waldung bei Rendsburg im schleswig-holsteinischen Heideaufforstungsgebiet sah ich bei 300 3jährigen Roteichen auf einer größeren Kahlfläche alles Laub vernichtet. Erst Ende Juli bei ruhigerem Wetter konnten Blätter angesetzt werden. Mit Ausbildung der Krone wird Laubholz widerstandsfähiger gegen Wind, Nadelholz ist um-

1) Vgl. auch Sorauer, Hdbch. der Pflanzenkrankheiten 1909.

gekehrt in der Jugend windfester als im Alter. Die dichte Verzweigung und größere Starrheit alter Laubholzkronen zwingen den Wind zum Ausbiegen, die winddurchlassenden, langen, schwanken Nadelholzzweige hochgewachsener Bäume haben vollen Winddruck auszuhalten.

Es empfiehlt sich daher bei Ödlandaufforstung die Einbringung von Laubholz besonders auf größeren Lücken, z. B. von *Polyporus annosus*, oder als Unterbau, wobei eine Bodenmeliorierung, event. Mergeldüngung der Heide, vorausgehen sollte.

Als Waldmantel verwendet man in Schleswig-Holstein mit Vorteil Weißfichte und Hackenkiefer; zwecks Beimischung der dort am meisten ausdauernden Eiche empfehle ich einen Pflanzenverband genannter Nadelhölzer von 1,5 m² und nach einigen Jahren Auspflanzung aller Lücken mit Eichen. Möglichst junges Pflanzmaterial ist vorteilhaft bei Neukulturen, weil meist nur eine ganz begrenzte Bodenzone zur Aufnahme der Wurzel geeignet ist. Folge zu tiefer Pflanzung langer Wurzeln ist deren Abfaulen; diese Erfahrung machte ich mit ca. 4jähr. Eichen in Brammerau. Bei der Untersuchung der teils abgestorbenen teils kümmernden Pflanzen ergab es sich, daß unterhalb einer Zone von 15—20 cm die Wurzelenden in Fäulnis übergegangen waren.

2. Die intensive Bodenkultur der Gärtnerei und Landwirtschaft bedient sich mit vollem Erfolg der Umzäunung mit Holz- und Steinwänden (Holland, Nordseeinseln, Karst usw.), sowie lebender Zäune und Knicks. — Besonders große Anwendung haben letztere in Schleswig-Holstein gefunden, das in der Hauptsache von Ost gegen West geneigt windoffen daliegt. Ich habe dort im Sommer 1910 öfters die Windstärke auf der freien Heide und dem beknickten Felde bei Nortorf kurz aufeinanderfolgend gemessen und fand, daß die Windgeschwindigkeit in $^1/_2$ m Höhe vom Erdboden auf der Heide ungefähr 3mal so groß war.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß große Windstärken in kurzer Zeit vernichtend für höheren Pflanzenwuchs sind oder empfindliche Zuwachsverluste bringen, empfiehlt sich die weitere Anwendung des noch nicht genügend gewürdigten Knickes, der auch als Eigentumsgrenze und als Windschutz für das Weidevieh kaum entbehrlich erscheint.

Wie meine Zuwachsmessungen im Winde ergeben haben, steigert absoluter Windschutz die Produktion organischer Substanz um ein Vielfaches. Der beste Windschutz für landwirtschaftlich benutzte Gebiete sind Waldungen, welche einerseits die Luftströme in höhere Schichten ablenken, anderseits durch die Ungleichheit des Kronendaches die Luftbewegung verlangsamen und zerteilen. Besonders wichtig sind Waldungen für trockene Länder durch Hemmung des Windes, in Anbetracht der wasserentziehenden Kräfte desselben, sowie des Umstandes, daß schon bei Windgeschwindigkeiten von 3 m an Taubildung unterbleibt oder höchstens bei sehr

wasserdampfhaltiger Luft eintreten kann, was ich im Bonner botanische Garten durch tägliche Beobachtungen konstatieren konnte.

Aus diesen Gesichtspunkten ist die Windschadenbekämpfung durc Aufforstung öder Ländereien von höchstem wirtschaftlichen Nutzen un trägt zur Hebung der Bevölkerung nach Zahl und Wohlstand zweifello bei. — Im norddeutschen Heidegebiet insbesondere ist ein planmäßige Zusammenarbeiten von Forst- und Landwirtschaft wichtig; hier empfieh sich die Anlage großer, windbrechender Waldkomplexe zur Erhöhung de Rentabilität der zwischenliegenden Feldfluren. Die Wohlfahrtswirkunge des Waldes werden eine dauernde Rentabilität der Aufforstungskoste sicherstellen, anderseits ist nach den waldbaulichen Erfolgen der Staats und insbesondere der Provinzialforstverwaltung von Schleswig-Holstein di forstliche Anbaufähigkeit der Heide im allgemeinen erwiesen. Als voraus gehende Bodenmelioration hat sich die Rabattenkultur am besten bewährt sie erreicht dauernde Durchlüftung des feinen Sandes und Flottlehmes.